39-50, 2002

3 應用遙測技術推估水稻產量之初探

申雍[1*] 章國威[2] 李裕娟[3] 楊純明[3] 羅正宗[4]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]國立中興大學植物學系
[3]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[4]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所農藝組
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘 要 ---------------------------- 40
壹、前　言 ------------------------ 41
貳、材料與方法 --------------------- 41
參、結果與討論 --------------------- 42
肆、引用文獻 ---------------------- 46

3 應用遙測技術推估水稻產量之初探

申雍[1*] 章國威[2] 李裕娟[3] 楊純明[3] 羅正宗[4]

[1]國立中興大學土壤環境科學系

[2]國立中興大學植物學系

[3]行政院農業委員會農業試驗所農藝組

[4]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所農藝組

E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘 要

利用遙測影像推估田間水稻產量的空間分佈，不僅是實施精準農業的重要基礎，也可供糧政主管單位進行糧食供需的調配。本研究目標主要在分析地面測得之植被反射光譜，建立特徵光譜與水稻產量間的定量關係，作爲應用遙測技術推估田間水稻產量空間分布之基礎。研究以台灣地區目前栽培面積較廣之台農67號水稻爲研究對象，於農試所嘉義分所之溪口農場內建立水稻樣區，在1999-2001年三年間藉由不等量氮肥施用產生水稻產量間之變異。試驗期間定期測定田間水稻植冠反射光譜，以分析水稻全生育期中反射光譜變動特性，並於水稻收穫時調查水稻之產量，尋求水稻反射光譜特性與產量間的關聯性，以建立利用遙測影像估測水稻產量所需之模式。初步研究結果指出，在抽穗期間水稻植被反射光譜的動態變動最小，因此適合用於進行田間水稻產量空間分布之推估。以植被反射光譜中綠光段(G)、紅光段(R)、和近紅外光段(NIR)計算之波段比值(NIR/R、NIR/G)，可組成推估水稻產量的複回歸模式，並可適用於推估不同年期之水稻產量。以農試所內精準農業農場2001年一期作的資料進行所得模式的應用性檢驗研究，結果指出該模式亦可適用於農試所內精準農業農場，惟可能由於種植密度和產量調查時坪割面積與考種方式的差異，雖然遙測模式預測值與實測值間具有良好的正相關(R^2=0.84)，但截距仍約有2 T ha^{-1}，因此該模式目前僅適合用於區劃田間水稻相對產量的空間分布，還不能用於區劃田間實際產量之空間分布情形，仍有待累積更多地點的相關試驗資料以進行模式之修正。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、特徵光譜、產量推估、遙測模式。

壹、前 言

「精準農業」 (precision agriculture，或稱site-specific farming)要求能精確掌握氣候和土壤之時間與空間的變異，以及其對農作物生育的影響，使能經由肥培、施藥等栽培管理手段，進行高效率的農業經營與管理，並減少由農業所產生之非點源污染(non-point pollution)，進而達到提高生產利潤，保護生態環境的目標，使農業得以永續發展(Blackmore *et al*., 1995; Castelnuovo, 1995; Pierce and Sadler, 1997)。田間作物產量的空間分佈圖則是進行精準管理的基礎，由累積數年期的田間產量空間分佈圖，不僅可以依據所設定之精準管理的目標，規劃適當的田間管理組圖(Larscheid *et al*., 1997)；也可用於細究導致田間產量發生空間分佈變異的原因，進行相關的土壤改良工作。

用航遙測技術或Yield Monitor都可獲得水稻產量之空間分布資訊， 但各有優缺點。利用衛星和飛機進行的遙測，具有可快速進行大範圍作物生育情形調查之優點，因此遙測影像常被用於獲得田間作物相對產量的空間分佈資訊，例如Long et al. (1995)曾利用彩色紅外線相片的灰度值區分田間作物相對產量的空間分佈圖。但是若要結合不同年期的田間產量分佈圖進行精準管理的分析，或是進行田間產量估算時，就必需能由遙測影像估測作物得實際產量，亦即需要有可將遙測影像資訊轉爲田間作物實際產量的校正模式。

水稻是臺灣地區主要的糧食作物，糧政單位需要能推估大面積田間水稻產量之遙測技術。

以往台灣地區與水稻有關之遙測研究多偏重於水稻種植面積之調查，例如，陳等(1994)曾利用不同生長時期SPOT影像各波段影像灰度值的變化以判釋插秧面積；鄧(1997)、劉等(1998)、陳與曾(1999)則結合遙測影像和地理資訊系統(GIS)進行水稻種植面積的判釋，以克服農地坵塊面積小、作物種類繁雜等問題，提高水稻田的辨識精確度達90%以上。但是，有關利用遙測資料估算水稻產量的基礎性研究仍相當缺乏，因此對於應用遙測影像資料進行水稻產量或受災程度等的評估工作仍產生嚴重限制。

本研究主要分析於地面量測所得的水稻植被反射光譜和相對應的水稻產量等地眞資料，建立田間水稻植被反射特徵光譜與產量間的定量關係，作爲應用遙測技術推估田間水稻產量空間分布之基礎。

貳、材料與方法

本研究以台灣地區目前栽培面積最廣之台農67號水稻爲研究對象，於農試所嘉義分所之溪口農場內建立水稻樣區，在1999-2001年三年間藉由不等量氮肥施用(0、30、45、60、90、180 kg N ha^{-1})，造成各處理樣區間水稻生長勢和產量之差別，每處理三重覆，各樣區面積至少10m×10 m。

試驗期間定期利用可攜式光譜儀(LI-1800)測定田間水稻植冠反射光譜。取用的波長範圍爲400~1100nm，波段間隔10nm。測定時將遠端接受器(LI-1800-02 remote cosine receptor)横向伸出約1.5m至水稻植冠上方約1m處，以減少儀器遮陰的影響。所有反射光譜的測量工作皆於上

午十時至下午二時間完成，以減少太陽入射角對植冠反射光譜之影響，並選擇入射日射受雲干擾少時，盡快反覆測量入射及反射光譜各三次，再由三次入射與反射測定之平均值，計算水稻植冠的反射光譜。收穫時則於各處理樣區以坪割方式(1m²)採取稻株樣本，以人工脫粒，經曬乾、風選、定水分等步驟，換算成含水率13.5%的水稻單位面積產量。

量測所得之水稻植被反射光譜再依SPOT的多光譜影像波段分成綠光段(G，0.50-0.59 μm)、紅光段(R，0.61-0.68 μm)、近紅外光段(NIR，0.79-0.89 μm)等三個波段，進行NDVI與波段比值等特徵光譜分析，藉由比較各處理間的差異，以及特徵光譜隨時間的變動，選擇最適合的特徵光譜與時間點，利用複回歸統計求取特徵光譜與水稻產量間的關係模式。

參、結果與討論

一期作水稻植被反射光譜的典型變化示於圖1。插秧後第3週，水稻剛由移植的傷害中恢復，田間葉面積少，植被覆蓋率也低，田水和土壤的反射光譜對地面反射光譜仍有相當多之貢獻，此時可見光段的反射值僅略低於近紅外光段的反射值。插秧3週後，由於水稻分櫱數和葉面積快速增加，因此近紅外光段的反射值快速升高，但是可見光段的反射值卻因葉片葉綠素之吸收而降低，在插秧後12週約可達近紅外光段的最大值和可見光段的最低值。在生育後期，水稻葉片逐漸黃化、枯萎，可見光段的反射值因葉綠素濃度減少而升高，但近紅外光段的反射值卻因葉片枯萎和背景土壤之暴露而降低。水稻二期作反射光譜隨生育期的變動情形與一期作相類似，可見光段的反射值在生育前期會逐漸下降，在生育後期會逐漸上升；近紅外光段的反射值在生育前期會快速上升，在生育後期則會逐漸下降。

不同氮肥處理生育期間量得的植被反射光譜計算之SPOT波段比值(NIR/R、NIR/G、G/R)，以及標準差植被指數(normalized difference vegetation index，(NIR-R)/(NIR+R))等則示於圖2～圖5。因

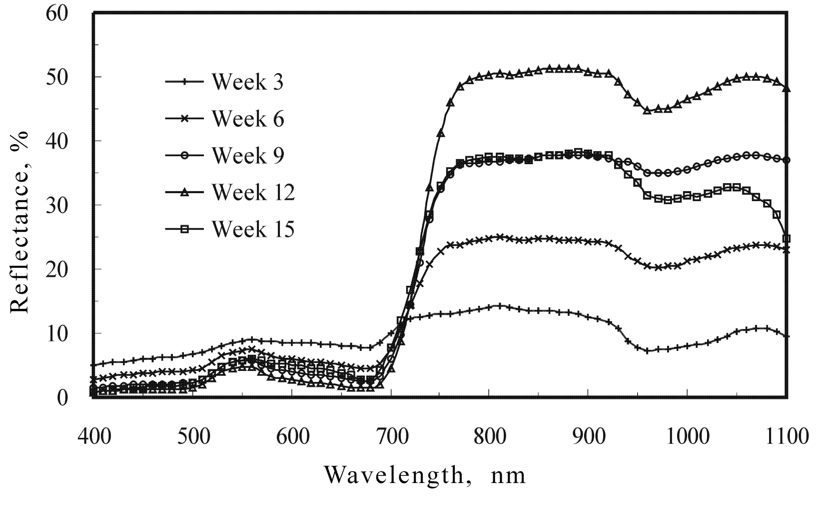

圖1.　水稻一期作反射光譜的典型變化情形。

生育期中植被反射光譜在可見光段和近紅外光段改變之程度和方向不同的影響，這些波段比值和植被指數在生育前期有逐漸升高，生育後期又逐漸下降的變動趨勢。不同氮肥處理間，以NIR/R和NIR/G的差異最大，此應與氮肥用量較多者有較多的葉面積和較高的葉綠素濃度有關。各處理間G/R或NDVI的差異並不顯著，因此可能不適合作為擬建立之產量推估模式的自變數。

由圖2～圖5的時間變化也可瞭解，在幼穗分化期(～70 DAT)或抽穗期(～100 DAT)前後各式植被指數隨時間的變動較為緩和，但在其他的時期隨時間的變動大；且由於抽穗期距離水稻成熟約僅剩一個月，因此若要利用植被反射光譜建立估算田間水稻產量的遙測模式，可能以抽穗期的反射光譜最為合適。若就各年度之一、二期作分別進行回歸分析，則不論以NIR/R或NIR/G都可得到顯著的直線相關，如表1所示。此乃由於綠光段和紅光段的反射值主要與植被中葉綠素的濃度有關，而近紅外光段的反射值主要與植被之葉面積有關，且植冠中葉綠素濃度和葉面積又與水稻的光合成能力有關。

若將不同年度所執行類似之氮肥試驗的一、二期作之產量與相對應之植被指數合併分析(表2)，即可瞭解在同一期作在不同年度雖有類似的產量，卻不一定有類似的NIR/R或NIR/G比值，但不同年度間NIR/R和NIR/G波段比值的變動趨勢卻具有相互對應的關係；且一期與二期作雖然植被指數可能類似，但水稻產量卻大不相同。此可能與不同年度、期作之氣候條件不同，因而造成水稻生長發育型態或葉綠素濃度分佈上的差異有關。因此，若要由植被特徵光譜建立推估產量的遙測模式，則必須將累積的一、二期作資料分開，利用屬於同一期作的產量資料和對應的NIR/R和NIR/G波段比值，以複回歸統計

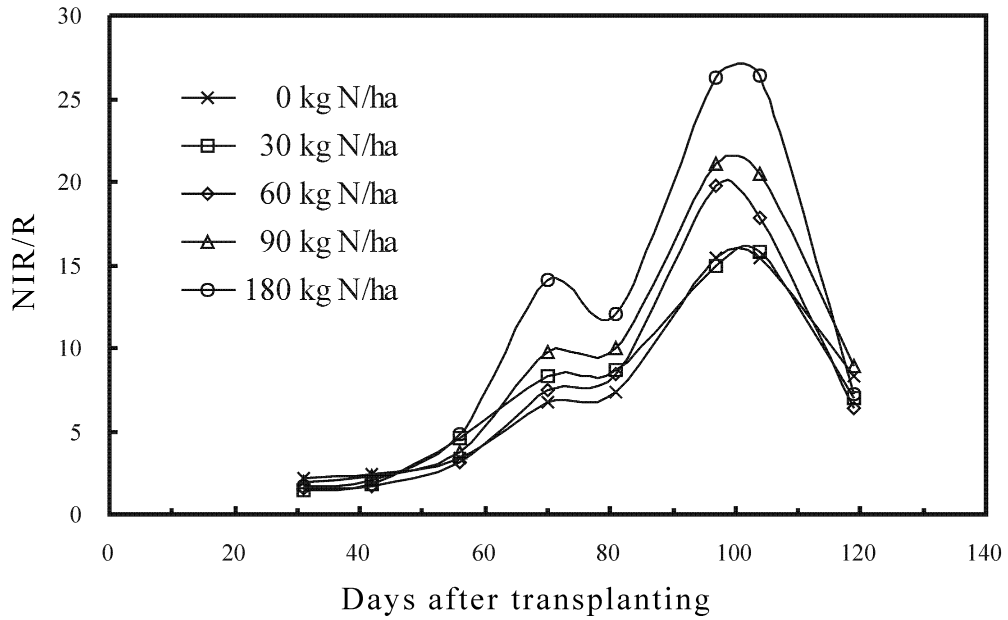

圖2.　不同氮肥處理一期作水稻插秧後波段比值NIR/R的變化情形。

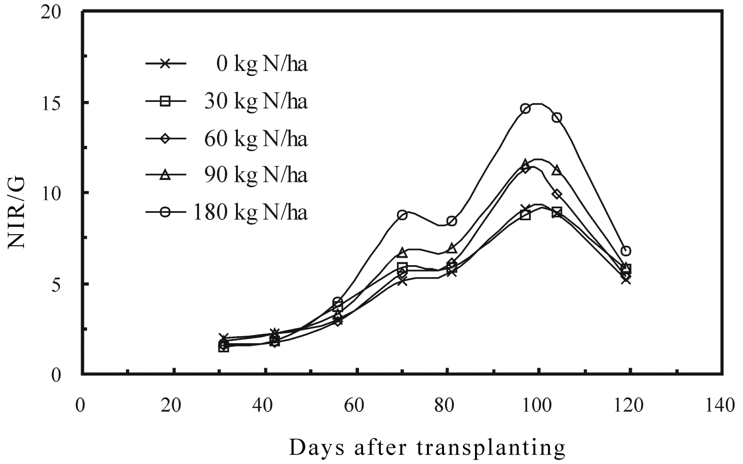

圖3.　不同氮肥處理一期作水稻插秧後波段比值NIR/G的變化情形。

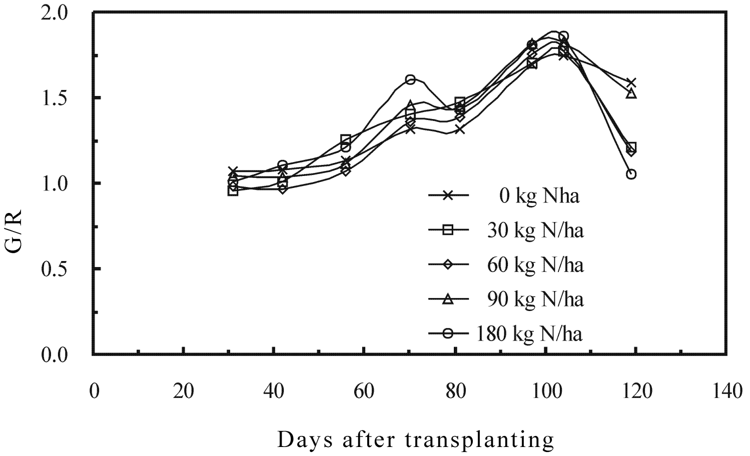

圖4.　不同氮肥處理一期作水稻插秧後波段比值G/R的變化情形。

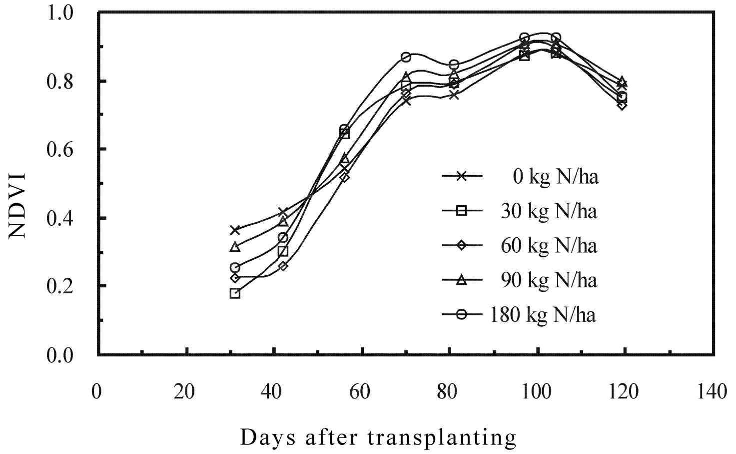

圖5.　不同氮肥處理一期作水稻插秧後植被指數NDVI的變化情形。

表1. 不同年度和期作水稻產量與抽穗期NIR/R或NIR/G波段比值間的線性關係。

	NIR/R			NIR/G		
Year/Season	Intercept	Slop	R^2	Intercept	Slop	R^2
2001/I	1.89	0.23	0.95	0.71	0.53	0.99
2000/I	0.32	0.32	0.97	-0.44	0.66	0.96
1999/I	-4.45	0.93	0.89	-5.90	1.64	0.96
2000/II	1.00	0.37	0.96	-0.02	0.69	0.97
1999/II	1.15	0.21	0.98	0.07	0.47	0.98

表2. 不同年度和期作水稻產量與抽穗期NIR/R和NIR/G波段比值間變化的綜合比較。

N Treatment kg N ha^{-1}	Yield Ton ha^{-2}	NIR/R	NIR/G
1st crop, 2001			
0	3.85	8.9	6.0
45	4.69	11.8	7.6
90	4.62	11.3	7.3
180	4.75	13.1	7.7
1st crop, 2000			
0	4.88	15.4	8.8
30	5.38	15.8	8.9
60	6.41	17.8	9.9
90	7.38	20.4	11.2
180	8.58	26.3	14.1
1st crop, 1999			
0	3.96	9.6	6.2
90	6.40	10.7	7.2
180	7.19	12.7	8.2
2nd crop, 2000			
0	3.88	8.1	5.9
45	4.59	10.2	7.1
90	5.78	11.4	7.7
180	6.94	16.3	10.4
2nd crop, 1999			
0	3.58	11.0	7.2
90	4.49	17.0	10.0
180	5.89	21.8	12.1

方法，得到適用於不同年度的產量推估模式，分如圖6、圖7所示。

為驗證所得推估模式在其他地點與氣候環境下的適用性，2001年一期作期間於農業試驗所精準農業農場內設置之氮肥處理試驗區，量測抽穗期間水稻植被反射光譜，計算NIR/R和NIR/G等波段比值後推估產量，並與實際的評割產量比較(圖8)。結果指出該模式亦可適用於農試所內精準農業農場，惟可能由於種植密度和產量調查時坪割面積與考種方式的差異，雖然遙測模式預測值與實測值間具有良好的正相關(R2=0.84)，但截距仍約有2 T ha-1，因此該模式目前僅適合用於區劃田間水稻相對產量的空間分布，還不能用於區劃田間實際產量之空間分布情形。

肆、引用文獻

1. 陳哲俊、楊金江、陳珠燕、張彬、徐滄淇、王宏基、劉建慧。1994。利用衛星影像資料改進稻作面積自動估算及生育查報。農委會研究報告83-遙測-02-07.47。
2. 陳益凰、曾義星。1999。應用多時段衛星影像辨識水稻田之研究。航測及遙測學刊4:1-16。
3. 鄧敏松。1997。結合多時段遙測影像、耕地坵塊與領域知識之區域影像辨識法於水稻田耕作調查之應用。國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
4. 劉治中、蕭國鑫、吳啓南。1998。使用遙測資料更新農地土地利用資訊。工研院能資所第06-3-88-W001研究報告。

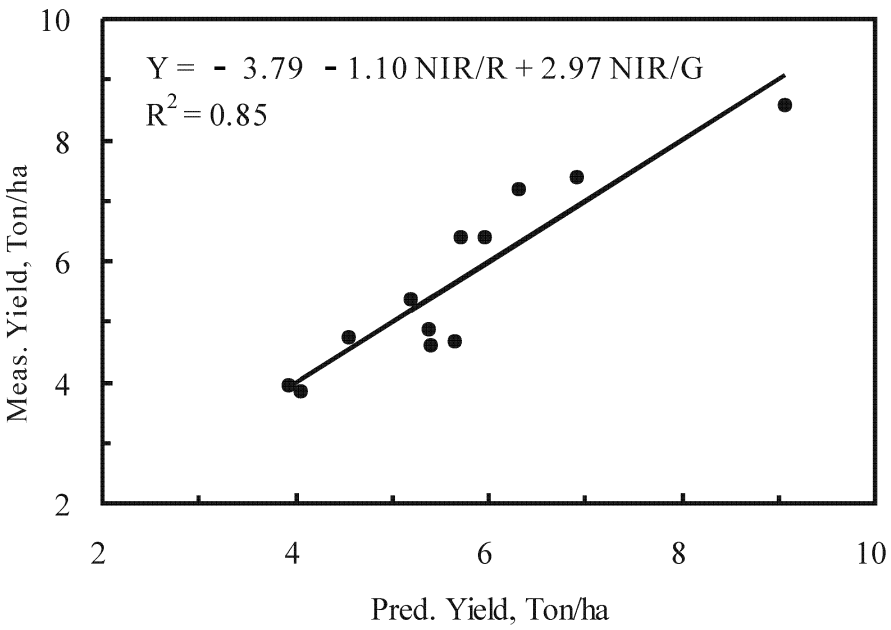

圖6. 1999-2001一期作水稻產量推估模式預測值與實測值比較。

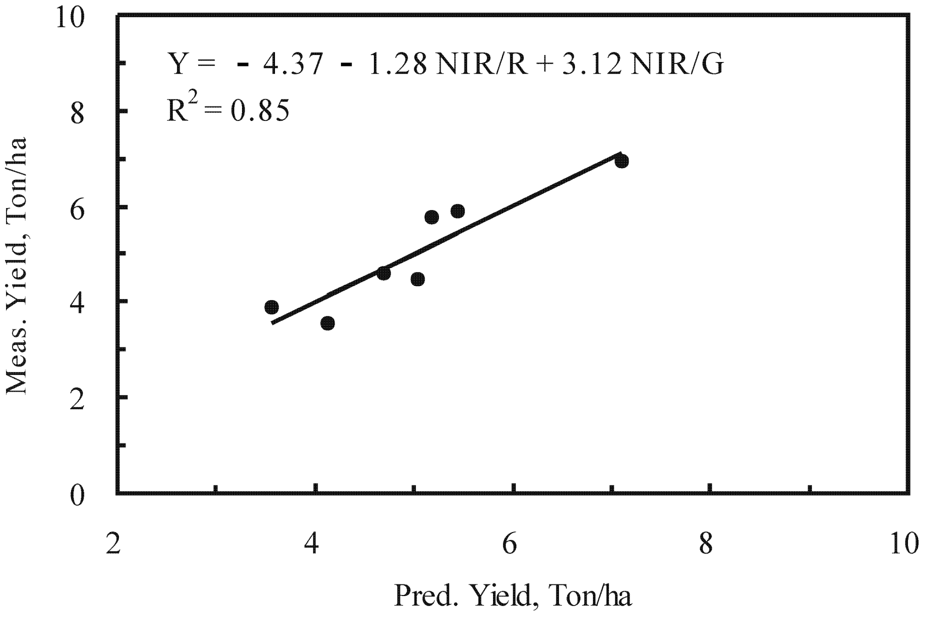

圖7. 1999-2000二期作水稻產量推估模式預測值與實測值比較。

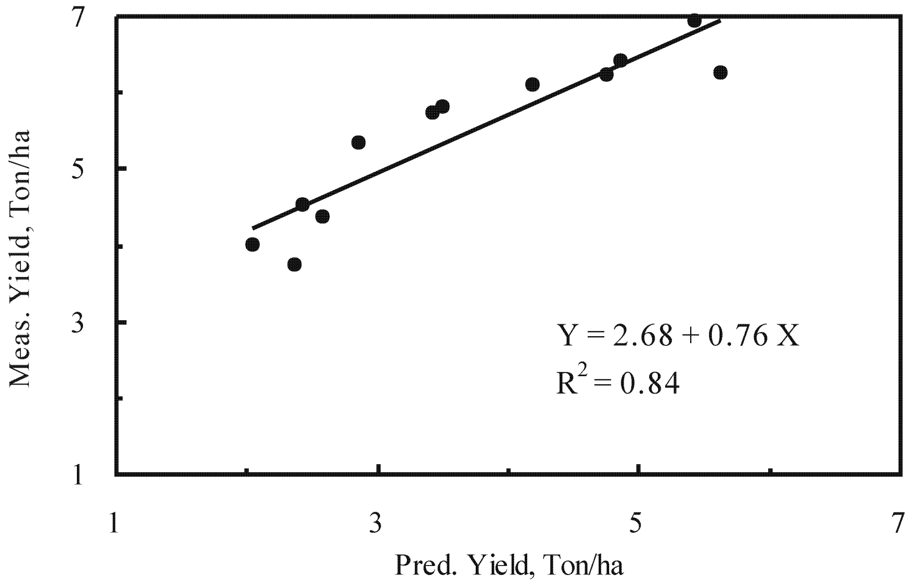

圖8. 一期作水稻產量推估模式於農試所驗證結果比較。

5. Blackmore, B.S., P.N. Wheeler, J. Moris, R.M. Moris and R.J.A. Jones. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. p.777-793. In: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.
6. Castelnuovo, R. 1995. Environmental concerns driving site-specific management in agriculture. p.867-880. In: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.
7. Larscheid, G., B.S. Blackmore and M. Moore. 1997. Management decisions based on yield maps. http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf
8. Long, D.S., G.R. Carlson and S.D. DeGloria. 1995. Quality of field management maps. p.251-271. 0..000000000000000000In: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson, eds. ASA, CSSA, SSSA.
9. Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). 1997. “The State of Site Specific Management for Agriculture” . ASA, CSSA, SSSA.

3 Preliminary Study of Rice Yield Estimation by Remote Sensing Techniques

Yuan Shen[1]*, Kuo-Wei Chang[2], Yuh-Jyuan Lee[3], Chwen-Ming Yang[3] and Jeng-Chung Lo[4]

[1] Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[2] Department of Botany, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[3] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[4] Department of Agronomy, Chiayi Branch Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Chiayi 600, Taiwan, ROC

E-mail:yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Abilities to estimate rice yields within fields from remote sensing images are not only fundamental to applications of precision agriculture (PA) but also useful to the governmental administrators for food management. Major objectives of this study were to identify spectral characteristics associated with rice yield and to establish their quantitative relationships. Field experiments were conducted at Shi-Ko experimental farm of TARI's Chiayi Branch Station, during 1999-2001. Rice cultivar Tainung 67 (Oryza sativa L.), the major cultivar grown in Taiwan, was used in the study. Varied rice yields were obtained via nitrogen application treatments. Canopy reflectance spectra were measured during rice growth and dynamic changes of characteristic spectrum were analyzed. Relations among rice yields and characteristic spectrum were studied to establish yield estimation models suitable for remote sensing purposes. Preliminary results indicated that the dynamic changes of canopy reflectance spectrum were least during booting stages. Therefore, the canopy reflectance spectrum during this period were selected for model development. A multiple regression model, constituting of band ratio (NIR/R, NIR/G) calculated from green (G), red (R) and near infrared (NIR) portions of canopy reflectance spectrum, was able to

estimate rice yields from different years. Validation tests, using data of 1st crop, 2001 collected at PA experimental fields of TARI, indicated positive correlation (R^2=0.84) between model prediction and actual measurements. However, an intercept of approximately 2 T ha^{-1}, may be caused by differences in planting density or yield sampling techniques, indicated that the model was suitable only for estimating relative yield distribution within the field instead of actual yield. More data collected at different locations are required to further improve the model.

Key words: Rice, Characteristic spectrum, Yield estimation, Remote sensing model.